



DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets ⁷ : H01S 5/10		A1	(11) Numéro de publication internationale: WO 00/48278 (43) Date de publication internationale: 17 août 2000 (17.08.00)
<p>(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR00/00278 (22) Date de dépôt international: 7 février 2000 (07.02.00)</p> <p>(30) Données relatives à la priorité: 99/01559 10 février 1999 (10.02.99) FR</p> <p>(71) Déposant (<i>pour tous les Etats désignés sauf US</i>): COMMIS-SARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE [FR/FR]; 31-33, rue de la Fédération, F-75752 Paris 15ème (FR).</p> <p>(72) Inventeurs; et (75) Inventeurs/Déposants (<i>US seulement</i>): HADJI, Emmanuel [FR/FR]; 9, Impasse des Primevères, F-38600 Fontaine (FR). PAUTRAT, Jean-Louis [FR/FR]; 4, rue du Trident, F-38100 Grenoble (FR).</p> <p>(74) Mandataire: SIGNORE, Robert; Brevatome, 3, rue du Docteur Lancereaux, F-75008 Paris (FR).</p>		<p>(81) Etats désignés: JP, US, brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>Publiée <i>Avec rapport de recherche internationale.</i></p>	
<p>(54) Title: METHOD FOR FORMING AN OPTICAL SILICON LAYER ON A SUPPORT AND USE OF SAID METHOD IN THE PRODUCTION OF OPTICAL COMPONENTS</p> <p>(54) Titre: PROCEDE DE FORMATION SUR UN SUPPORT D'UNE COUCHE DE SILICIUM A USAGE OPTIQUE ET MISE EN OEUVRE DU PROCEDE POUR LA REALISATION DE COMPOSANTS OPTIQUES</p>			
<p>The technical drawings illustrate the invention's process. The top diagram shows a rectangular support (10) with a silicon block (22a) bonded to its surface. The silicon block has a distinct surface layer (22a). The bottom diagram shows a separate rectangular area with diagonal hatching, labeled 20a, representing a cleavage zone where the silicon block is to be separated from the support.</p>			
<p>(57) Abstract</p> <p>The invention relates to a method for forming an optical silicon layer (22a) on a support (10), having a specific thickness. The inventive method comprises the following steps: a) a silicon block (20a) is molecularly bonded to the support, whereby the silicon block has a surface layer (22a) that is defined by a cleavage zone, b) the silicon block is cleaved according to the cleavage zone in order to detach the surface layer therefrom, c) the thickness of the surface layer is adjusted. The invention can be used in the production of optical components.</p>			

(57) Abrégé

L'invention concerne un procédé de formation sur un support (10) d'une couche de silicium (22a) à usage optique présentant une épaisseur déterminée. Le procédé comporte les étapes suivantes: a) le collage moléculaire sur le support, d'un bloc de silicium (20a), le bloc de silicium présentant une couche superficielle (22a), et délimitée par une zone de clivage, b) le clivage du bloc de silicium selon la zone de clivage pour en détacher la couche superficielle, c) l'ajustage de l'épaisseur, de ladite couche superficielle. Applications à la fabrication de composants optiques.

UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publient des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	ES	Espagne	LS	Lesotho	SI	Slovénie
AM	Arménie	FI	Finlande	LT	Lituanie	SK	Slovaquie
AT	Autriche	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
AU	Australie	GA	Gabon	LV	Lettonie	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	GB	Royaume-Uni	MC	Monaco	TD	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	GE	Géorgie	MD	République de Moldova	TG	Togo
BB	Barbade	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tadjikistan
BE	Belgique	GN	Guinée	MK	Ex-République yougoslave de Macédoine	TM	Turkménistan
BF	Burkina Faso	GR	Grèce	ML	Mali	TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	MN	Mongolie	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MR	Mauritanie	UA	Ukraine
BR	Brésil	IL	Israël	MW	Malawi	UG	Ouganda
BY	Bélarus	IS	Islande	MX	Mexique	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	NE	Niger	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NL	Pays-Bas	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norvège	YU	Yougoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	NZ	Nouvelle-Zélande	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	République populaire démocratique de Corée	PL	Pologne		
CM	Cameroun	KR	République de Corée	PT	Portugal		
CN	Chine	KZ	Kazakstan	RO	Roumanie		
CU	Cuba	LC	Sainte-Lucie	RU	Fédération de Russie		
CZ	République tchèque	LJ	Liechtenstein	SD	Soudan		
DE	Allemagne	LK	Sri Lanka	SE	Suède		
DK	Danemark	LR	Libéria	SG	Singapour		

PROCEDE DE FORMATION SUR UN SUPPORT D'UNE COUCHE DE SILICIUM A USAGE OPTIQUE ET MISE EN OEUVRE DU PROCEDE POUR LA REALISATION DE COMPOSANTS OPTIQUES

5 Domaine technique

L'invention concerne un procédé de formation sur un support d'une couche de silicium à usage optique ainsi qu'un certain nombre d'applications du procédé pour la réalisation de composants optiques.

10 On entend par couche de silicium à usage optique une couche qui dans un composant optique contribue à la conduction, à la réflexion, à la transmission et/ou à la génération de la lumière.

15 L'invention trouve des applications notamment dans la fabrication de miroirs, tels que des miroirs de Bragg ainsi que dans la fabrication de cellules d'émetteurs optiques à microcavité.

Etat de la technique antérieure

20 Le silicium est un matériau largement utilisé dans la fabrication de circuits de microélectronique.

Dans le domaine optique, par contre, la bande interdite indirecte du silicium, lui confère de très faibles propriétés radiatives qui rendent impossible 25 l'utilisation de ce matériau tel quel pour émettre de la lumière.

A l'heure actuelle, il n'existe pas sur le marché de dispositifs émetteurs de lumière à base de silicium.

30 De tels émetteurs seraient cependant avantageux car les technologies liées au silicium sont particulièrement développées et, de ce fait, peu onéreuses.

De plus, il serait possible d'associer des composants optiques à des composants électroniques et les intégrer dans les circuits de microélectronique.

On connaît un certain nombre d'utilisations d'autres semi-conducteurs, principalement de type III-V, pour la fabrication de microcavités. Les microcavités comportent un milieu actif sous la forme d'une couche dont l'épaisseur est un multiple de la demi-longueur d'onde de la lumière de travail, et sont disposés en sandwich entre un premier et un deuxième miroirs.

Le document (1) dont la référence est précisée à la fin de la présente description, concerne la fabrication de microcavités du type de Fabry-Pérot à base de silice amorphe dopée à l'erbium.

Les micro-cavités sont délimitées par deux miroirs de Bragg.

Le caractère amorphe des matériaux utilisés pour la réalisation de ces microcavités diminue fortement les possibilités d'émission de lumière. En revanche, l'incorporation d'ions de terres rares permet l'usage de telles microcavités.

Le document (2) dont la référence est également précisée à la fin de la description, montre un procédé de réalisation d'un miroir de Bragg cristallin. Le procédé consiste pour l'essentiel à faire croître du silicium sur un support puis, après une implantation d'oxygène, à former dans le silicium une couche enterrée d'oxyde de silicium. La répétition de ces opérations conduit à un miroir de Bragg à plusieurs périodes.

Ce procédé repose cependant essentiellement sur une technique dite SIMOX (Separation by Implantation of

Oxygen - séparation par implantation d'oxygène) qui semble ne pas se développer dans l'industrie de la microélectronique.

5 Exposé de l'invention

La présente invention a pour but de proposer un procédé de formation d'une couche de silicium et en particulier une couche de silicium cristallin en vue de la réalisation de composants optiques et en particulier de sources d'émission de lumière à microcavité.

10 Un but est également de proposer un tel procédé qui permette la fabrication de composants optiques à un coût particulièrement réduit.

15 Un autre but encore de proposer ledit procédé dans des applications à la fabrication de miroirs de Bragg et à des émetteurs optiques à microcavité.

20 Pour atteindre ces buts, l'invention a plus précisément pour objet un procédé de formation sur un support d'une couche de silicium à usage optique présentant une épaisseur (optique) déterminée. Conformément à l'invention, le procédé comporte les étapes successives suivantes :

a) le collage moléculaire sur le support, déjà équipé ou non d'autres couches, d'un bloc de silicium, le 25 bloc de silicium comprenant une couche superficielle, délimitée par une zone de clivage sensiblement parallèle à sa surface, et présentant une épaisseur supérieure, respectivement inférieure à ladite épaisseur déterminée, et le bloc de 30 silicium étant recouvert d'une couche d'oxyde de silicium, mise en contact avec le support lors du collage,

- b) le clivage du bloc de silicium selon la zone de clivage pour en détacher la couche superficielle solidaire du support,
- c) l'amincissement, respectivement l'augmentation de 5 l'épaisseur, de ladite couche superficielle jusqu'à atteindre une épaisseur sensiblement égale à ladite épaisseur déterminée.

On entend par collage moléculaire un collage impliquant des liaisons moléculaires entre les surfaces 10 en contact, sans interposition de liant.

La mise en oeuvre d'une technique de clivage est bien connue dans le domaine de la microélectronique et est décrite par exemple dans le document (3) dont la référence est précisée à la fin de la description. 15 Cette technique permet de former efficacement une couche de silicium, notamment une couche de silicium cristallin, à la surface d'un support, et en particulier sur un support ne présentant pas la même maille cristalline ou la même structure cristalline que 20 le silicium.

Or, le procédé de l'invention permet de mettre en oeuvre dans le domaine optique le procédé de clivage en dépit des limitations mentionnées ci-dessus.

Selon une première possibilité de mise en 25 oeuvre du procédé, lors de l'étape a), la couche superficielle présente une épaisseur supérieure à l'épaisseur déterminée. Dans ce cas, l'étape c) comporte un amincissement par voie mécanique, chimique ou mécano-chimique de cette couche.

En particulier, la couche de silicium peut être 30 amincie par polissage ou par un traitement associant une oxydation en surface de la couche et une élimination sélective, par gravure, de l'oxyde.

Selon une deuxième possibilité, on peut également utiliser lors de l'étape a) un bloc de silicium dont la couche superficielle, délimitée par la zone de clivage, présente une épaisseur qui est 5 inférieure à l'épaisseur déterminée. Dans ce cas, lors de l'étape c), on augmente l'épaisseur de la couche superficielle par croissance cristalline.

La croissance cristalline a lieu par exemple selon un procédé tel que l'épitaxie en phase vapeur.

10 Avant l'étape de collage, le bloc de silicium peut être préparé en effectuant une implantation d'hydrogène à travers une de ses faces pour former une zone fragilisée, s'étendant sensiblement selon un plan parallèle à ladite face et formant la zone de clivage.
15 L'énergie de l'implantation est ajustée pour former la zone de clivage à une profondeur qui, selon le mode de mise en oeuvre sélectionné, est soit supérieure, soit inférieure, à ladite épaisseur déterminée.

20 L'épaisseur déterminée est comprise ici comme une épaisseur de la couche (superficielle) de silicium permettant d'obtenir un comportement optique déterminé. Il s'agit par exemple d'une épaisseur égale où proportionnelle à $\frac{\lambda}{4n_s}$ où λ est la longueur de travail

25 de la lumière produite ou reçue et n_s l'indice de réfraction du silicium.

Selon une mise en oeuvre préférentielle une couche d'oxyde de silicium est formée sur le bloc de silicium, et plus précisément sur la face d'implantation. Cette couche formée préférentiellement 30 avant l'implantation, vient alors en contact du support lors de l'étape de collage moléculaire du procédé de l'invention.

Une application particulière de l'invention concerne un procédé de fabrication d'un miroir de Bragg de longueur d'onde λ , sur un support. Selon ce procédé, on forme un empilement de couches comprenant 5 alternativement au moins une couche d'oxyde de silicium d'épaisseur optique $\frac{\lambda}{4n_o}$, où n_o désigne l'indice de réfraction de l'oxyde de silicium et au moins une couche de silicium présentant une épaisseur optique $\frac{\lambda}{4n_s}$, où n_s désigne l'indice de réfraction du silicium, 10 et ladite couche de silicium étant formée selon le procédé évoqué ci-dessus.

La couche d'oxyde peut être, par exemple, la couche d'oxyde évoquée ci-dessus et formée sur le bloc de silicium avant l'implantation.

15 Le miroir de Bragg comporte de préférence une pluralité de périodes, c'est-à-dire une pluralité de couches de silicium respectivement alternées avec une pluralité de couches d'oxyde de silicium.

Les couches d'oxyde de silicium peuvent être 20 formées, par exemple, par dépôt chimique en phase vapeur, selon une technique de dépôt assisté par plasma, désignée par PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition - dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma).

25 Une autre application particulière de l'invention est un procédé de fabrication d'un composant optique avec une longueur d'onde de travail λ comprenant :

- la formation d'un miroir de Bragg selon le procédé 30 mentionné ci-dessus,

- la formation par croissance cristalline sur le miroir de Bragg d'une couche de matériau actif pour former une cavité,
- la formation sur la cavité d'un second miroir.

5 Le matériau actif peut être du silicium cristallin pur ou contenant un élément actif tel que des impuretés d'erbium ou de néodyme par exemple.

10 Le matériau actif peut également être un alliage SiGe, SiGeC ou SiC sous forme de film mince, sous forme de structure à boîtes quantiques ou de structure multicoches avec plusieurs films de matériaux différents.

15 On entend par structure à boîtes quantiques une matrice d'un premier matériau contenant des inclusions nanométriques d'un second matériau, le second matériau ayant une largeur de bande interdite plus faible que celle du premier matériau. Le ou les matériau(x) de la cavité peu(ven)t être formé(s), par exemple, par croissance cristalline en phase vapeur ou par jet 20 moléculaire. Leur épaisseur, ou tout au moins l'épaisseur de la cavité, est ajustée pour correspondre à une épaisseur optique souhaitée en fonction d'une longueur d'onde de travail donnée.

25 Le second miroir, qui recouvre la cavité, peut être un simple miroir métallique ou, de préférence, un miroir de Bragg obtenu selon le procédé déjà décrit.

Le procédé de report d'une couche de silicium d'épaisseur contrôlée peut également être mis à profit pour la réalisation de la cavité d'un émetteur optique.

30 La fabrication de l'émetteur optique peut comporter :

- la formation sur un support d'un premier miroir de Bragg,

- la formation sur le miroir de Bragg d'une couche de silicium recouvrant une couche d'oxyde de silicium, la couche de silicium étant formée conformément au procédé décrit précédemment, et
- 5 - la formation d'un deuxième miroir au-dessus de la couche de silicium.

Le miroir peut être formé directement en contact avec la couche de silicium ou en être séparé par d'autres couches intercalaires.

10 La couche d'oxyde de silicium peut être formée sur le premier miroir de Bragg avant le report de la couche de silicium. Elle peut aussi, de préférence, être formée directement à la surface de la couche de silicium, c'est-à-dire sur le bloc de silicium, 15 également avant le report.

Le deuxième miroir, tout comme pour la réalisation précédente, peut être un miroir traditionnel ; par exemple, une couche métallique, ou un miroir de Bragg obtenu selon le procédé déjà décrit.

20 D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront mieux de la description qui va suivre, en référence aux figures des dessins annexés. Cette description est donnée à titre purement illustratif et non limitatif.

25

Brève description des figures

- La figure 1 est une coupe schématique d'un bloc de silicium dans lequel est formé une zone de clivage.

30 - La figure 2 est une coupe schématique d'un assemblage obtenu par report de la structure de la figure 1 sur un support.

- La figure 3 est une coupe schématique de l'assemblage de la figure 2 après clivage selon la zone de clivage.

5 - La figure 4 est une coupe schématique de l'assemblage de la figure 3 après une opération de finition.

10 - Les figures 5 et 6 sont des coupes schématiques illustrant des étapes de fabrication d'une structure multicouches Si/SiO₂ à partir de l'assemblage de la figure 4.

15 - Les figures 7, 8 et 9 sont des coupes schématiques illustrant des étapes de fabrication d'un module d'émetteur à microcavité à partir d'une structure multicouches telle qu'obtenue au terme de l'étape représentée à la figure 6.

- Les figures 10, 11 et 12 sont des coupes schématiques illustrant les étapes de fabrication d'un autre module d'émetteur à microcavité.

20 - Les figures 13, 14 et 15 sont des coupes schématiques illustrant des étapes de fabrication d'encore un autre module d'émetteur à microcavité.

Description détaillée de modes de mise en oeuvre de l'invention

25 Pour des raisons de simplification, dans les figures décrites ci-après, des parties identiques, similaires ou équivalentes portent les mêmes références. Par ailleurs, la description donnée se rapporte à la fabrication de composants, de dispositifs 30 ou de parties de dispositifs ayant une longueur d'onde de travail ou longueur d'onde centrale donnée, notée λ .

La figure 1 montre un bloc de silicium monocristallin 20a dans lequel sont implantés des ions

d'hydrogène H⁺. L'implantation est représentée sous la forme de flèches.

L'implantation est réalisée avec une dose et une énergie suffisantes pour former, à une profondeur donnée dans le bloc 20a, une zone fragilisée 21, désignée par zone de clivage.

La zone de clivage délimite ainsi dans le bloc de silicium une couche superficielle 22a. La profondeur de la zone de clivage, ajustée avec l'énergie d'implantation est choisie supérieure à l'épaisseur d'une couche de silicium à usage optique que l'on souhaite former.

Ainsi, si on souhaite former une couche d'épaisseur $\frac{\lambda}{4n_s}$ où n_s est l'indice de réfraction du silicium, la profondeur d'implantation et donc l'épaisseur de la couche superficielle 22a est choisie supérieure à cette valeur.

On observe également sur la figure 1 que la couche superficielle 22a du bloc 20a est recouverte d'une première couche 12a d'oxyde de silicium. L'épaisseur de la couche d'oxyde est ajustée, par exemple, à $\frac{\lambda}{4n_0}$ où n₀ est l'indice de réfraction de l'oxyde de silicium. La couche d'oxyde peut être formée par un procédé de dépôt chimique en phase vapeur ou éventuellement par oxydation thermique du silicium du bloc 20a.

L'épaisseur de la première couche d'oxyde 12a est ajustée par gravure chimique ou mécanochimique par exemple.

La surface libre 13 de la couche d'oxyde de silicium 12a visible à la figure 1 et la surface libre d'un support non représenté, subissent ensuite un traitement permettant leur collage moléculaire 5 ultérieur. Le traitement comporte, par exemple, un nettoyage chimique.

Le support est formé par une plate-forme 10. Il se présente sous la forme d'un substrat massif ou d'un substrat comprenant plusieurs couches de matériaux 10 différents.

Dans l'exemple de la figure 2, décrite ci-après, le support est un bloc de silicium, de verre ou de quartz.

Le collage moléculaire, représenté sur la 15 figure 2, est obtenu en reportant sur le support 10, l'ensemble formé par le bloc de silicium 20a et la couche d'oxyde 12a, de façon à mettre en contact les faces libres de la couche d'oxyde de silicium 12a et la plate-forme 10.

Une opération suivante, illustrée par la figure 20 3, consiste à effectuer un clivage du bloc de silicium 20a selon la zone de clivage préalablement implantée.

Le clivage peut être assisté par un traitement thermique.

On observe qu'au terme du clivage, la couche superficielle 22 reste solidaire de la plate-forme 10 par l'intermédiaire de la couche d'oxyde de silicium 12a.

Le bloc de silicium 20a qui se détache de la 30 couche superficielle peut éventuellement subir une nouvelle implantation ionique pour y former une nouvelle zone de clivage. Il peut alors être réalisé dans un procédé de report tel que décrit.

La figure 4 montre l'assemblage formé de la plate-forme 10, de la couche d'oxyde 12a et de la couche superficielle 22. L'assemblage est renversé par rapport à la figure 3. Une flèche 24 indique un 5 traitement d'ajustage de l'épaisseur de la couche superficielle.

Dans l'exemple décrit, la couche superficielle 22 présente initialement une épaisseur supérieure à l'épaisseur souhaitée. Ainsi, le traitement d'ajustage 10 de l'épaisseur consiste en un amincissement de la couche. Ce traitement peut avoir lieu par polissage ou encore par une succession d'opérations d'oxydation superficielle et de gravure sélective pour éliminer à chaque fois l'oxyde formé.

15 Selon une variante de mise en oeuvre du procédé, la couche superficielle peut également être formée initialement avec une épaisseur inférieure à l'épaisseur souhaitée ; ce qui revient à effectuer dans le bloc de silicium une implantation de la zone de 20 clivage à une profondeur inférieure à $\frac{\lambda}{4n_s}$.

Dans ce cas, l'étape d'ajustage de l'épaisseur de la figure 4 consiste en une augmentation de l'épaisseur de la couche. Celle-ci peut être réalisée par croissance de silicium à la surface de la couche 25 superficielle.

Le procédé décrit ci-dessus peut être itéré pour la réalisation de composants ou de dispositifs optiques particuliers. Quelques exemples en sont exposés ci-après.

30 La figure 5 montre la formation d'une nouvelle couche d'oxyde de silicium 12b sur un bloc de silicium monocristallin 20b. Tout comme le bloc 20a de la figure

1, le bloc de silicium 20b présente une zone de clivage
21 qui en délimite une couche superficielle 22b. La
couche de clivage est formée par implantation d'ions
hydrogène.

5 Par ailleurs, le procédé de formation de la
nouvelle couche d'oxyde de silicium 12b est identique à
celui exposé pour la formation de la première couche
d'oxyde 12a.

L'épaisseur de la nouvelle couche d'oxyde est
10 également ajustée à une valeur de $\frac{\lambda}{4n_0}$.

La figure 6 montre le report du nouveau bloc de
silicium de la figure 5 sur la structure de la figure
4.

La surface de la couche superficielle d'oxyde
15 de silicium 12b, recouvrant le bloc de silicium 20b,
est mise en contact et collée par adhésion moléculaire
sur la couche de silicium 22b dont l'épaisseur a été
préalablement ajustée.

On observe que, dans cette structure,
20 l'assemblage formé par la plate-forme 10, la première
couche d'oxyde de silicium 12a et la première couche de
silicium 22a est utilisée comme support pour la
formation d'une nouvelle alternance de couches SiO₂/Si.

Un nouveau clivage permet de séparer le bloc
25 20b de sa couche superficielle 22b qui reste solidaire
de la couche d'oxyde de silicium 12b sous-jacente.

Un ajustage de l'épaisseur de la couche de
silicium superficielle 22b permet d'obtenir une
structure telle que représentée à la figure 7.

30 Cette structure comporte sur la plate-forme
10 un empilement alterné de couches d'oxyde de silicium
et de silicium dont l'épaisseur optique est ajustée en

fonction d'une longueur d'onde donnée. Cet empilement, repéré avec la référence 30 constitue un miroir de Bragg.

Bien entendu, selon des propriétés de réflexion souhaitées, le nombre d'alternances SiO_2/Si du miroir de Bragg peut être augmenté en répétant les étapes du procédé décrit ci-dessus.

La figure 8 montre une étape d'un procédé de fabrication d'un composant optique incluant le miroir de Bragg 30 de la structure de la figure 7.

L'étape de la figure 8 comprend la formation sur la dernière couche de silicium superficielle 22b d'une cavité optique 34 en un matériau actif.

La cavité 34 est réalisée par croissance d'un ou plusieurs matériaux choisis parmi Si, SiGe, SiGeC, SiC. Ces matériaux peuvent contenir des impuretés dopantes telles que des impuretés d'erbium constituant des éléments actifs.

La cavité peut se présenter sous la forme d'un bloc massif, sous la forme d'une ou de plusieurs couches minces, sous la forme de structure à boîtes quantiques ou encore sous la forme d'une structure multicouche associant des couches de différents matériaux choisis parmi ceux énumérés ci-dessus. Son épaisseur est ajustée lors de la croissance du matériau en fonction de la longueur d'onde de travail λ .

Une cavité de silicium peut comporter, par exemple, une succession de couches de silicium et de couches d'alliage SiGe très fines. Les couches de SiGe, dont l'épaisseur est de l'ordre de 5 nm, ne créent pas de dislocations dues à un désaccord de maille cristalline mais peuvent constituer des puits quantiques.

De la même façon, le désaccord de mailles entre des couches de silicium et des couches de germanium, très fines, peut résulter en la formation d'îlots de germanium qui constituent les boîtes quantiques. Ces 5 îlots augmentent considérablement la capacité de la cavité 34 à émettre de la lumière.

Le composant optique est complété, comme le montre la figure 9, par la mise en place sur la cavité 34 d'un deuxième miroir 36.

10 Le deuxième miroir 36 peut être, par exemple, un miroir de Bragg conventionnel obtenu par un dépôt successif de couches de SiO_2/Si selon un procédé de dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma dit PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition).

15 Le deuxième miroir 36 peut également être réalisé selon le procédé déjà décrit pour la réalisation du premier miroir de Bragg 30.

20 Enfin, le deuxième miroir 36 peut également être un miroir classique métallique obtenu par dépôt d'un film métallique. Un tel dépôt peut être réalisé par évaporation.

Les figures 10 à 12 montrent encore une autre mise en oeuvre possible de l'invention.

25 La figure 10 montre une première étape consistant à former un miroir 30 sur une plate-forme 10 en silicium.

30 Le miroir 30 peut être un miroir de Bragg tel que décrit en référence à la figure 7 ou un miroir d'un autre type à l'instar du miroir 36 de la figure 9, décrit ci-dessus.

Une deuxième étape, illustrée par la figure 11, comprend la formation sur le premier miroir 30 d'une

couche d'oxyde de silicium 31 et d'une couche de silicium 32 qui recouvre la couche d'oxyde.

La couche de silicium 32 provient d'un bloc de silicium dont elle constitue une couche superficielle.
5 Ce bloc peut éventuellement être recouvert de la couche d'oxyde. La couche de silicium, éventuellement recouverte de la couche d'oxyde, est alors reportée selon le procédé décrit en référence aux figures 2 et 3.

10 La couche d'oxyde de silicium 31 peut également être formée directement sur le premier miroir 30 et recouverte ensuite par report de la couche de silicium 32.

15 L'épaisseur de la couche de silicium 32 reportée n'est toutefois pas ajustée à une épaisseur correspondant à une épaisseur optique pour la longueur d'onde choisie.

20 Elle est en effet utilisée ici comme un support permettant de promouvoir la croissance ultérieure de matériaux actifs pour former une cavité optique. L'épaisseur de la couche de silicium 32 est ainsi de préférence très faible. Son épaisseur est comprise, par exemple, entre 5 et 200 nm.

25 La figure 12 montre la croissance d'un matériau actif pour former une cavité optique 34 de la façon déjà décrite.

On peut considérer que la couche de silicium 32 fait partie de la cavité 34 pour le calcul et l'ajustage de l'épaisseur optique de cette dernière.

30 Enfin, la cavité est recouverte d'un deuxième miroir 36 comparable au miroir correspondant de la figure 9.

Les figures 13 à 15 illustrent encore une autre possibilité d'application de l'invention pour la réalisation d'un composant optique.

5 Les figures 13 et 14 représentent des structures sensiblement identiques aux figures 10 et 11 et obtenues selon les mêmes procédés. La description plus détaillée de ces figures est donc omise ici.

On observe toutefois que la couche de silicium 32 reportée sur le premier miroir 30 et recouvrant la 10 couche d'oxyde 31 est bien plus épaisse que celle de la figure 11.

La couche de silicium 32, dont l'épaisseur est contrôlée par la profondeur de la zone de clivage dans le bloc de silicium dont elle provient, est choisie 15 supérieure à l'épaisseur optique souhaitée pour le composant optique.

L'épaisseur de la couche de silicium 32 est ajustée par polissage ou par gravure pour former une cavité optique.

20 Cette cavité peut être recouverte par un deuxième miroir 36 comme le montre la figure 15.

Les composants décrits ci-dessus peuvent être associés entre eux ou associés à d'autres composants optiques ou électroniques sur un même substrat.

25 De même lorsque les cavités optique des composants décrits sont utilisés comme émetteurs de lumière, elles peuvent être associées à des moyens de pompage optique ou électrique appropriés et connus en soi.

30

DOCUMENTS CITES

Des références concernant les documents cités dans le texte ci-dessus de même que des documents

concernant un arrière-plan technologique sont donnés ci-après.

(1)

5 "Epitaxy-ready Si/SiO₂ Bragg reflectors by multiple separation-by-implanted-oxygen"
Appl. Phys. Lett. 69(25), 16 dec. 96
de Yukari Ishikawa et al.

10 (2)

FR-A-2 681 472

(3)

15 "Giant enhancement of luminescence intensity in Er-doped Si/SiO₂ resonant cavities"
Appl. Phys. Lett. 61(12), 21 Sept. 1992
de E.F. Schubert et al.

(4)

20 "Silicon intersubband lasers"
Superlattices and Microstructures, vol. 23, n° 2,
1998
de Richard A. Soref.

25 (5)

"Prospects for novel Si-based optoelectronic devices : unipolar and p-i-p-i lasers"
Thin Solid Films 294 (1997) 325-329
de Richard A. Soref

30

(6)

"Characterization of bond and etch-back silicon-on-insulator wafers by photoluminescence under ultraviolet excitation"

5 Appl. Phys. Lett. 70(2), 13 January 1977
de M. Tajima et al.

(7)

"Luminescence due to electron-hole condensation in silicon-on-insulator"

10 Journal of Applied Physics, volume 84, n° 4, 15
August 1998
de Michio Tajima et al.

REVENDICATIONS

1. Procédé de formation sur un support (10) d'une couche de silicium (22a, 22b, 32, 34) à usage optique présentant une épaisseur (optique) déterminée, 5 caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :
 - a) le collage moléculaire sur le support, déjà équipé ou non d'autres couches, d'un bloc de silicium (20a, 20b), le bloc de silicium comprenant une couche superficielle (22a, 22b, 32, 34), délimitée par une 10 zone de clivage (21) sensiblement parallèle à sa surface, et présentant une épaisseur supérieure, respectivement inférieure à ladite épaisseur déterminée, et le bloc de silicium étant recouvert d'une couche d'oxyde de silicium (12a, 12b), mise en 15 contact avec le support lors du collage,
 - b) le clivage du bloc de silicium selon la zone de clivage pour en détacher la couche superficielle, solidaire du support,
 - c) l'amincissement, respectivement l'augmentation de 20 l'épaisseur, de ladite couche superficielle jusqu'à atteindre une épaisseur sensiblement égale à ladite épaisseur déterminée.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel on utilise lors de l'étape a) un bloc de silicium dont la couche superficielle (22a, 22b) présente une épaisseur qui est supérieure à l'épaisseur déterminée et, dans lequel, lors de l'étape c), l'amincissement de la couche superficielle comporte au moins une opération d'oxydation suivie d'au moins une gravure, et/ou une opération de polissage.

3. Procédé selon la revendication 1, dans lequel on utilise lors de l'étape a) un bloc de silicium (20a, 20b) dont la couche superficielle (22a,

22b) présente une épaisseur qui est inférieure à l'épaisseur déterminée et, lors de l'étape c), on augmente l'épaisseur de la couche superficielle par croissance cristalline.

5 4. Procédé selon la revendication 1, dans lequel, avant l'étape a), on effectue une implantation d'hydrogène à travers une face (23) du bloc de silicium pour former dans le bloc (20a, 20b) une zone fragilisée (21), s'étendant sensiblement selon un plan parallèle à 10 sa surface et formant la zone de clivage, l'énergie de l'implantation étant ajustée pour former la zone de clivage à une profondeur supérieure, respectivement inférieure, à ladite épaisseur déterminée.

15 5. Procédé de fabrication d'un miroir de Bragg de longueur d'onde λ sur un support, dans lequel on forme un empilement de couches comprenant alternativement au moins une couche d'oxyde de silicium (12a, 12b) d'épaisseur optique $\frac{\lambda}{4n_o}$, où n_o désigne l'indice de réfraction de l'oxyde de silicium et au moins une couche de silicium (22a, 22b) présentant une épaisseur optique de $\frac{\lambda}{4n_s}$, où n_s désigne l'indice de réfraction du silicium, et dans lequel ladite couche de silicium est formée selon le procédé de la revendication 1.

25 6. Procédé selon la revendication 5, dans lequel on forme ladite couche d'oxyde de silicium par un procédé de dépôt chimique en phase vapeur ou par oxydation thermique du silicium.

30 7. Procédé de fabrication d'un composant optique avec une longueur d'onde de travail λ comprenant :

- la formation d'un miroir de Bragg (30) selon le procédé de la revendication 5,
- la formation par croissance cristalline sur le miroir de Bragg de la couche de matériau actif (34) pour former une cavité,
- la formation sur la cavité d'un deuxième miroir (36).

8. Procédé selon la revendication 7, dans lequel le matériau actif est choisi parmi le silicium pur, le silicium contenant une impureté, le carbure de silicium SiC et les alliages $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$, avec $0 < x < 1$.

9. Procédé selon la revendication 7, comprenant la formation du deuxième miroir par dépôt d'une couche métallique sur la cavité.

10. Procédé selon la revendication 7, comprenant la réalisation du deuxième miroir sous la forme d'un miroir de Bragg conformément à la revendication 5.

11. Procédé de fabrication d'un composant optique comprenant la formation sur un support d'un miroir de Bragg selon le procédé de la revendication 5, suivie de la formation d'une cavité optique par croissance cristalline d'au moins un matériau actif.

12. Procédé de fabrication d'une structure optique comprenant :

- la formation sur un support d'un premier miroir de Bragg (30),
- la formation sur le miroir de Bragg d'une couche de silicium (32) conformément au procédé de la revendication 1, et
- la formation d'un deuxième miroir (36) au-dessus de la couche de silicium.

13. Procédé selon la revendication 12, dans lequel les premier et deuxième miroirs sont des miroirs de Bragg réalisés conformément au procédé de la revendication 5.

5 14. Procédé selon la revendication 12, dans lequel la couche de silicium (34) présente une épaisseur optique égale à $\frac{\lambda}{4n_s}$ où λ est la longueur d'onde de travail de la structure optique et n_s l'indice de réfraction du silicium.

10 15. Procédé selon la revendication 12, dans lequel, avant la formation du deuxième miroir, on fait croître sur la couche de silicium une ou plusieurs couches (34) de matériau actif choisi parmi SiGe, SiGeC et SiC, pour former une cavité optique.

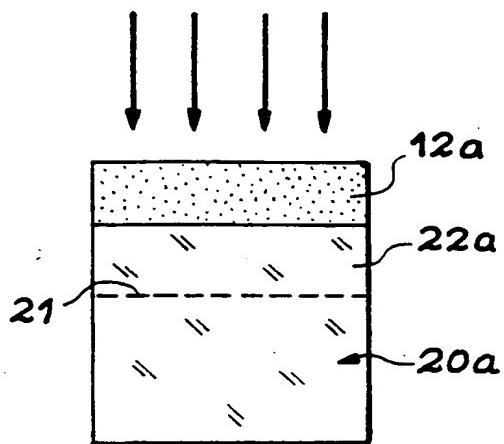


FIG. 1

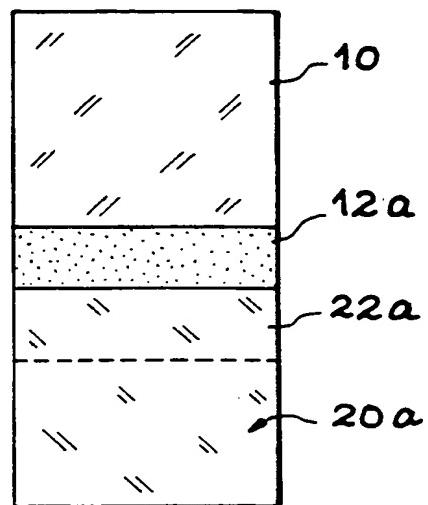


FIG. 2

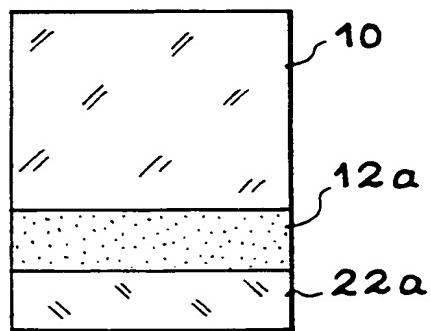


FIG. 3

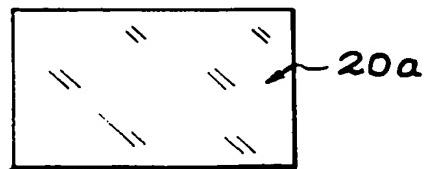


FIG. 4

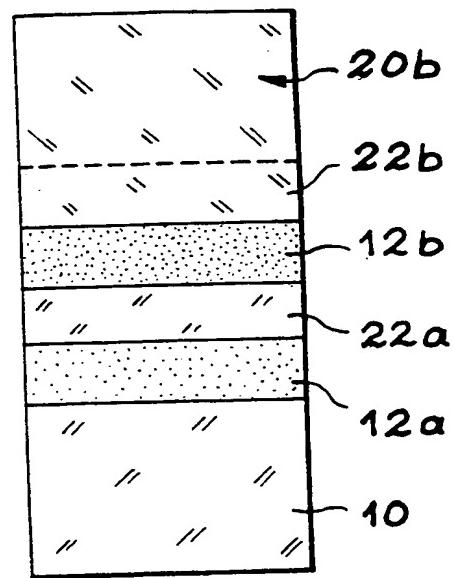
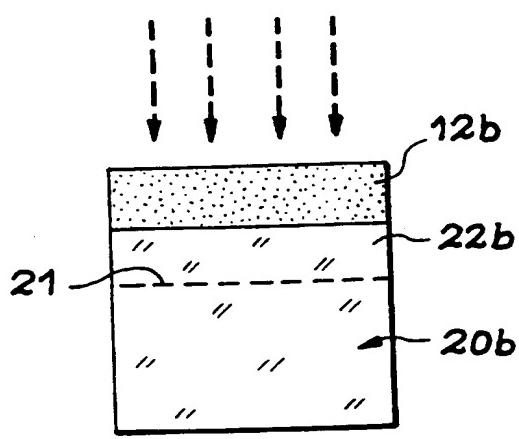


FIG. 6

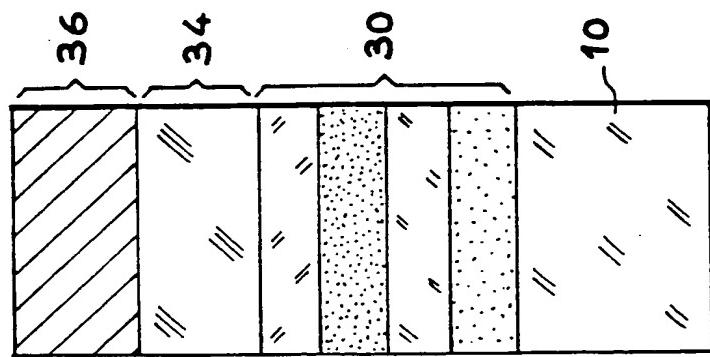


FIG. 9

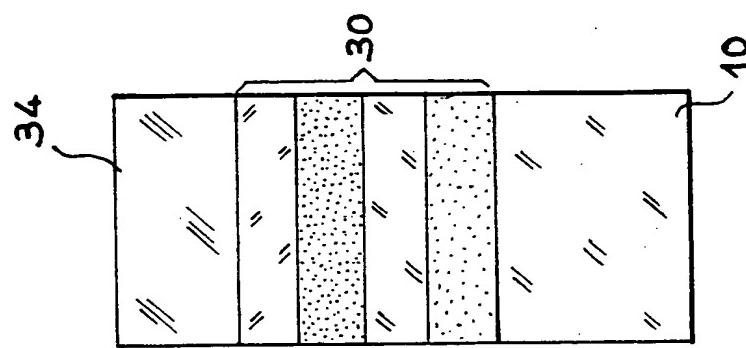


FIG. 8

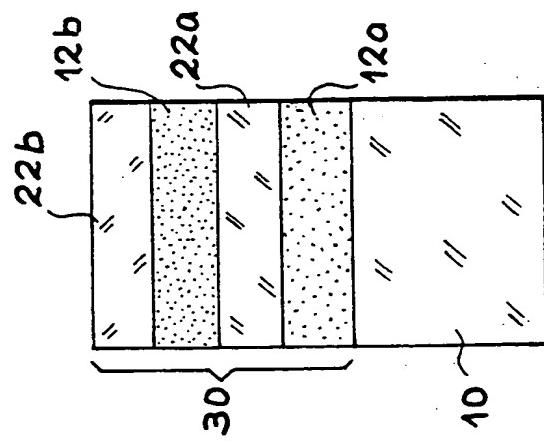


FIG. 7

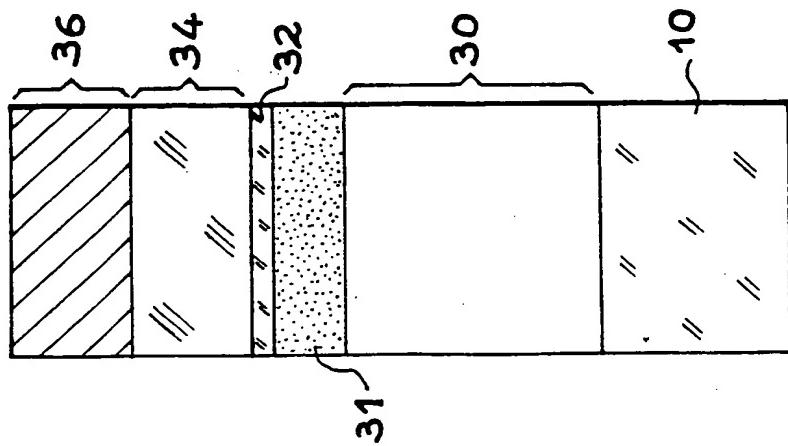


FIG. 12

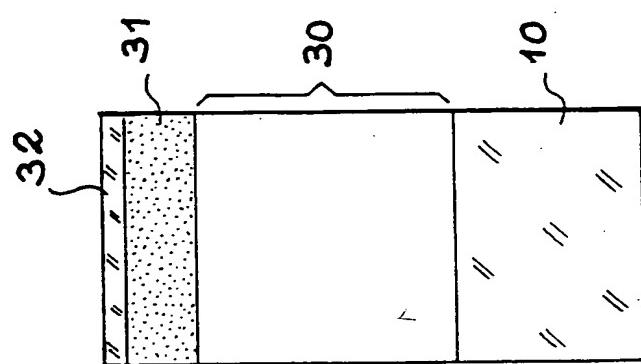


FIG. 11

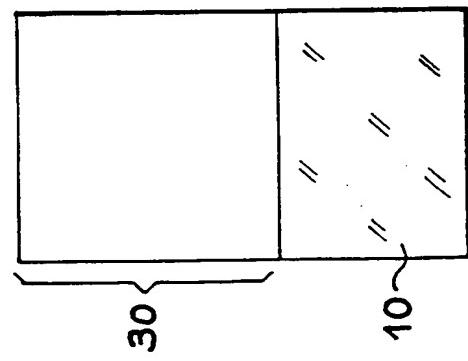


FIG. 10

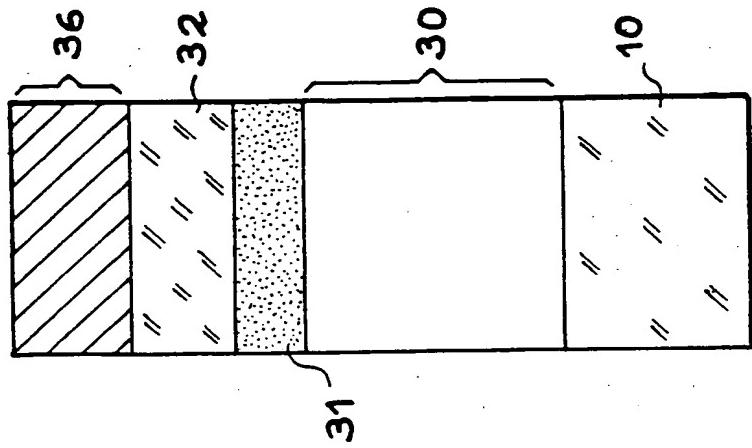


FIG. 15

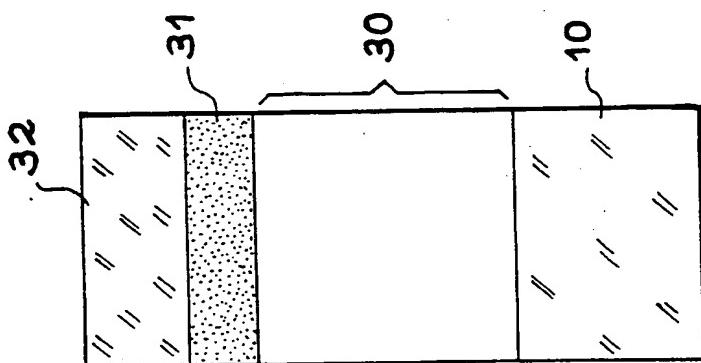


FIG. 14

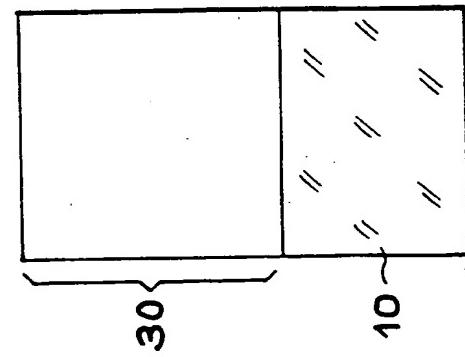


FIG. 13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 00/00278

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H01S5/10

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 H01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 374 564 A (BRUEL MICHEL) 20 December 1994 (1994-12-20) cited in the application the whole document ---	1
A	EP 0 578 407 A (AMERICAN TELEPHONE & TELEGRAPH) 12 January 1994 (1994-01-12) page 3, line 43 -page 4, line 10; figure 1 ---	1,5-15
A	US 5 363 398 A (GLASS ALASTAIR M ET AL) 8 November 1994 (1994-11-08) column 4, line 50 -column 5, line 13; figures 2,3 -----	1,5-15



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "C" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"Z" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

24 July 2000

Date of mailing of the international search report

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5018 Patentsteen 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Hervé, D

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 90/00278

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US 5374564 A	20-12-1994	FR	2681472 A	19-03-1993
		EP	0533551 A	24-03-1993
		JP	5211128 A	20-08-1993
EP 0578407 A	12-01-1994	US	5249195 A	28-09-1993
		CA	2096183 A,C	31-12-1993
		JP	6077579 A	18-03-1994
US 5363398 A	08-11-1994	CA	2127614 A	31-03-1995
		DE	69402145 D	24-04-1997
		DE	69402145 T	18-09-1997
		EP	0646999 A	05-04-1995
		HK	77397 A	13-06-1997
		JP	7154030 A	16-06-1995

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/FR 00/00278

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 7 H01S5/10

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTÉ

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 H01S

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 5 374 564 A (BRUEL MICHEL) 20 décembre 1994 (1994-12-20) cité dans la demande le document en entier ---	1
A	EP 0 578 407 A (AMERICAN TELEPHONE & TELEGRAPH) 12 janvier 1994 (1994-01-12) page 3, ligne 43 -page 4, ligne 10; figure 1 ---	1,5-15
A	US 5 363 398 A (GLASS ALASTAIR M ET AL) 8 novembre 1994 (1994-11-08) colonne 4, ligne 50 -colonne 5, ligne 13; figures 2,3 -----	1,5-15



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jouer un rôle sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "C" document se référant à une divulgarion orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- "Z" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

24 juillet 2000

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patenttaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel: (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Hervé, D

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande Internationale No

PCT/FR 00/00278

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5374564 A	20-12-1994	FR 2681472 A EP 0533551 A JP 5211128 A	19-03-1993 24-03-1993 20-08-1993
EP 0578407 A	12-01-1994	US 5249195 A CA 2096183 A,C JP 6077579 A	28-09-1993 31-12-1993 18-03-1994
US 5363398 A	08-11-1994	CA 2127614 A DE 69402145 D DE 69402145 T EP 0646999 A HK 77397 A JP 7154030 A	31-03-1995 24-04-1997 18-09-1997 05-04-1995 13-06-1997 16-06-1995